

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-344279

(43)Date of publication of application : 29.11.2002

(51)Int.Cl.

H03H 9/17
H01L 41/08
H01L 41/18

(21)Application number : 2001-141846

(71)Applicant : UBE ELECTRONICS LTD

(22)Date of filing : 11.05.2001

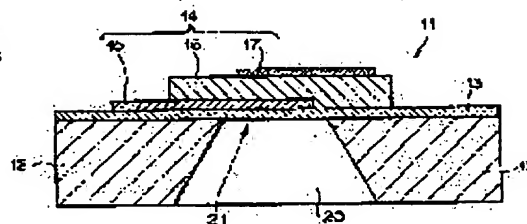
(72)Inventor : YAMADA TETSUO
NAGAO KEIGO
HASHIMOTO TOMONORI

(54) PIEZOELECTRIC THIN FILM RESONATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a piezoelectric thin film resonator having superior characteristics and high performance, having a large electromechanical coupling coefficient, a superior acoustic quality coefficient (Q-factor), and superior frequency characteristic.

SOLUTION: The piezoelectric thin-film resonator comprising a silicon single-crystal substrate 12, a dielectric base film made mainly of silicon oxide formed thereon, and a piezoelectric laminated structure 14 formed thereon. An oscillation unit 21 includes a part of the base film 13 and part of the piezoelectric laminated structure 14. The piezoelectric laminated structure 14 is formed by sequentially laminating a lower electrode 15, a piezoelectric film 16, and an upper electrode 17. The substrate 12 has a via hole 20, that forms a gap which allows oscillation of the oscillation unit 21 in a region, corresponding to the oscillation unit 21. The piezoelectric film 16 is an aluminum nitride containing alkaline earth metal and/or rare earth metal of 0.2 to 3.0 atom.%.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USP10)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層してなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している圧電薄膜共振子において、前記圧電体膜がアルカリ土類金属及び／または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子。

【請求項2】 前記圧電体膜における前記アルカリ土類金属及び前記希土類金属の含有量は0.2～3.0原子％であることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。

【請求項3】 前記圧電体膜は、C軸配向を示し、(0002)面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が3.0°以下であることを特徴とする、請求項1～2のいずれかに記載の圧電薄膜共振子。

【請求項4】 前記圧電体膜は、C軸長が0.4978～0.4993nmであることを特徴とする、請求項1～3のいずれかに記載の圧電薄膜共振子。

【請求項5】 前記圧電体膜は、(0002)面のX線回折ピークの2θ回転角の半値幅が0.6°以下であることを特徴とする、請求項1～4のいずれかに記載の圧電薄膜共振子。

【請求項6】 前記基板と前記圧電積層構造体との間には下地膜が形成されており、前記振動部は前記下地膜の一部をも含んで構成されていることを特徴とする、請求項1～5のいずれかに記載の圧電薄膜共振子。

【請求項7】 前記下地膜は酸化シリコンを主成分とする誘電体膜、窒化シリコンを主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜であることを特徴とする、請求項6に記載の圧電薄膜共振子。

【請求項8】 前記基板はシリコン単結晶からなることを特徴とする、請求項1～7のいずれかに記載の圧電薄膜共振子。

【請求項9】 前記上部電極は互いに離隔して形成された第1の電極部と第2の電極部とからなることを特徴とする、請求項1～8のいずれかに記載の圧電薄膜共振子。

【請求項10】 2.0～3.0GHzの範囲における共振周波数及び反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数が4.5％以上であることを特徴とする、請求項1～9のいずれかに記載の圧電薄膜共振子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、移動体通信機等に利用される薄膜振動子、薄膜VCO（電圧制御発信

器）、薄膜フィルタ、送受切替器や各種センサーなど、広範な分野で用いられる圧電体薄膜を利用した素子に関する。

【0002】

【従来の技術】圧電現象を利用する素子は広範な分野で用いられている。携帯電話機などの携帯機器の小型化と低消費電力化が進む中で、該機器に使用されるRF用およびIF用フィルタとして弾性表面波（Surface Acoustic Wave: SAW）素子の使用が拡大している。このSAWフィルタは設計および生産技術の向上によりユーザーの厳しい要求仕様に対応してきたが、利用周波数が高周波数化するに従って特性向上の限界に近づいており、電極形成の微細化と安定した出力確保との両面で大きな技術革新が必要となってきた。

【0003】一方、圧電体薄膜の厚み振動を利用した薄膜バルク波音響共振子（Film Bulk Acoustic Resonator: FBAR）は、基板に設けられた薄い支持膜の上に、主として圧電体より成る薄膜と、これを駆動する電極とを形成したものであり、ギガヘルツ帯での基本共振が可能である。FBARでフィルタを構成すれば、著しく小型化でき、かつ低損失・広帯域動作が可能な上に、半導体集積回路と一体化することができるので、将来の超小型携帯機器への応用が期待されている。

【0004】このような弾性波を利用した共振器やフィルタ等に応用される圧電体薄膜素子は、以下のようにして製造される。シリコンなどの半導体単結晶基板や、シリコンウエハなどの上に多結晶ダイヤモンドやエリンバーなどの恒弾性金属の膜を形成してなる基板の表面上に、種々の薄膜形成方法によって、誘電体薄膜、導電体薄膜またはこれらの積層膜からなる下地膜を形成する。この下地膜上に圧電体薄膜を形成し、さらに必要に応じた上部構造を形成する。各膜の形成後に、または全ての膜を形成した後に、各々の膜に物理的処理または化学的処理を施すことにより、微細加工やパターニングを行う。異方性エッチングにより基板から圧電体薄膜の振動部の下に位置する部分を除去した浮き構造を作製した後に、1素子単位ごとに分離して圧電体薄膜素子を得る。

【0005】例えば、特開昭58-153412号公報や特開昭60-142607号公報に記載された圧電体薄膜素子は、基板の表面上に下地膜、下部電極、圧電体薄膜及び上部電極を形成した後に、基板の下面から振動部となる部分の下にある基板部分を除去することにより製造されている。

【0006】圧電体薄膜素子用の圧電体材料としては、窒化アルミニウム（AlN）、酸化亜鉛（ZnO）、硫化カドミウム（CdS）、チタン酸鉛（PT）（PbTiO₃）、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）（Pb（Z

r, Ti) O,)などが用いられている。特に、AlNは、弾性波の伝播速度が速く、高周波帯域で動作する薄膜共振器やフィルターの圧電薄膜共振子の圧電体材料として適している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】これまで、AlN薄膜をFBARに適用するために、種々の検討が行われてきた。しかしながら、未だ、ギガヘルツ帯域で十分な性能を発揮する薄膜共振器や薄膜フィルターは得られておらず、AlN薄膜の音響的品質係数(Q値)、周波数温度係数および挿入損失の改善が望まれている。音響的品質係数(Q値)、広帯域動作及び周波数温度特性の全てに優れ、高性能な共振特性を示す薄膜圧電素子は提案されていない。電気機械結合係数は、共振器やフィルターを構成する際にその性能を左右する重要なパラメーターであり、使用する圧電体薄膜の膜品質に大きく依存する。電気機械結合係数を改善することで、音響的品質係数(Q値)を改善することができる。

【0008】そこで、本発明は、弾性波の伝播速度が速いというAlN薄膜の特長を活かしつつ、電気機械結合係数が大きく、音響的品質係数(Q値)、帯域幅及び周波数温度特性に優れ、従来のものに比べて著しく高特性で高性能な圧電薄膜共振子を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、AlN薄膜を圧電体薄膜としてSiなどの基板上に備えたFBARの共振特性が、AlN薄膜にアルカリ土類金属や希土類金属などの第三成分を添加することにより著しく改善されることを見出した。そして、第三成分を添加した高品質のAlN薄膜をFBARに使用することにより、電気機械結合係数が大きく、Q値、帯域幅及び周波数温度特性に優れた高性能なFBARを実現できることを見出し、本発明に到達した。

【0010】即ち、本発明によれば、上記の目的を達成するものとして、基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層してなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している圧電薄膜共振子において、前記圧電体膜がアルカリ土類金属及び／または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子、が提供される。

【0011】本発明の一態様においては、前記圧電体膜における前記アルカリ土類金属及び前記希土類金属の含有量は0.2～3.0原子%である。本発明の一態様においては、前記圧電体膜は、C軸配向を示し、(0002)面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が

3.0°以下である。本発明の一態様においては、前記圧電体膜は、C軸長が0.4978～0.4993nmである。本発明の一態様においては、前記圧電体膜は、(0002)面のX線回折ピークの2θ回転角の半値幅が0.6°以下である。

【0012】本発明の一態様においては、前記基板と前記圧電積層構造体との間には下地膜が形成されており、前記振動部は前記下地膜の一部をも含んで構成されている。本発明の一態様においては、前記下地膜は酸化シリコンを主成分とする誘電体膜、窒化シリコンを主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜である。

【0013】本発明の一態様においては、前記基板はシリコン単結晶からなる。本発明の一態様においては、前記上部電極は互いに離隔して形成された第1の電極部と第2の電極部とからなる。

【0014】本発明の一態様においては、2.0～3.0GHzの範囲における共振周波数及び反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数が4.5%以上である。

【0015】本発明では、AlN薄膜形成時に、薄膜原料としてアルカリ土類金属または希土類金属を添加することにより、これらの第三成分を含有するAlN薄膜を形成し、これをFBARの圧電体膜となす。アルカリ土類金属または希土類金属の添加により、AlNの結晶格子に固溶する酸素の濃度を低減できるばかりでなく、C軸配向AlN粒子の粒界の結合強度を高めることができ、共振子及びフィルターとしての性能が大幅に向上するものと考えられる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0017】図1は本発明による圧電薄膜共振子の実施形態を示す模式的平面図であり、図2はそのX-X断面図である。これらの図において、圧電薄膜共振子11は基板12、該基板12の上面上に形成された下地膜13及び該下地膜13の上面上に形成された圧電積層構造体14を有する。圧電積層構造体14は、下地膜13の上面上に形成された下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにして下地膜13の上面上に形成された圧電体膜16および該圧電体膜16の上面上に形成された上部電極17からなる。基板12には、空隙を形成するビアホール20が形成されている。下地膜13の一部はビアホール20に向けて露出している。この下地膜13の露出部分、及びこれに対応する圧電積層構造体14の部分が振動部(振動ダイヤフラム)21を構成する。また、下部電極15及び上部電極17は、振動部21に対応する領域内に形成された主体部15a、17aと、該主体部15a、17aと外部回路との接続のための端子

部15b、17bを有する。端子部15b、17bは振動部21に対応する領域外に位置する。

【0018】基板12としては、Si(100)単結晶などの単結晶、または、Si単結晶などの基材の表面にシリコン、ダイヤモンドその他の多結晶膜を形成したものをを用いることができる。基板12のピアホール20の形成方法としては、基板下面側からの異方性エッチング法が例示される。尚、基板12に形成される空隙は、ピアホール20によるものには限定されず、振動部21の振動を許容するものであればよく、該振動部21に対応する基板上面領域に形成した凹部であってもよい。

【0019】下地膜13としては、絶縁膜、たとえば酸化シリコン(SiO₂)を主成分とする誘電体膜、窒化シリコン(SiN_x)を主成分とする誘電体膜及び酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜を用いることができる。この下地膜13の材質について、主成分とは、誘電体膜中の含有量が50原子%以上である成分を指す。誘電体膜は単層からなるものであってもよいし、密着性を高めるための層などを付加した複数層からなるものであってもよい。下地膜13の厚さは、例えば0.2~2.0μmである。下地膜13の形成方法としては、シリコンからなる基板12の表面の熱酸化法やCVD法が例示される。

【0020】下部電極15及び上部電極17としては、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、白金(Pt)とチタン(Ti)との積層膜(Pt/Ti)、アルミニウム(Al)、金(Au)とクロム(Cr)との積層膜(Au/Cr)などを用いることができる。熱弾性損失が低いことから、Moが好適である。例えば、Moの熱弾性損失はAlの約1/56である。Mo単体だけでなく、Mo合金または適当な密着層の上にMo電極を形成して使用することも可能である。下部電極15及び上部電極17の厚さは、例えば50~200nmである。下部電極15及び上部電極17の形成方法としては、スパッタ法または蒸着法が例示され、更に必要に応じて所要の形状へのパターニングのためにフォトリソグラフィ技術が用いられる。

【0021】下部電極15の主体部15aを基板12の上面におけるピアホール20の矩形開口の2辺を通して該開口内へと延出させた場合には、下部電極15による振動部21の保持が可能となるので、下地膜13を省略することも可能である。

【0022】圧電体膜16は、AlN膜からなり、その厚さは例えば0.3~3.0μmである。圧電体膜16のAlN膜は、カルシウム、ストロンチウム及びバリウムなどのアルカリ土類金属またはイットリウム、ユーロビウム、ガドリニウム、ディスプロシウム、エルビウム、イッテルビウムなどの希土類金属を第三成分として含有している。圧電体膜16の形成方法としては、反応

性スパッタ法が例示され、更に必要に応じて所要の形状へのパターニングのためにフォトリソグラフィ技術が用いられる。

【0023】一般に圧電材料の圧電特性は、結晶の分極の大きさや分極軸の配列などに依存する。本発明の圧電薄膜共振子の圧電体膜においても、その圧電性は薄膜を構成する結晶のドメイン構造、配向性及び結晶性などの結晶性状に依存すると考えられる。本明細書において単一配向膜とは、基板表面と平行に目的とする結晶面が揃っている結晶化膜のことを意味する。例えば、(0001)単一配向膜は、膜面と平行に(0001)面が成長している膜を意味する。具体的には、ディフラクトメータ法によるX線回折測定を行った場合に、AlN結晶に起因した目的とする回折面以外の反射ピークがほとんど検出できないものを意味する。例えば、(000L)単一配向膜、即ち、C軸単一配向膜は、θ-2θ回転のX線回折測定で(000L)面以外の反射強度が(000L)面反射の最大ピーク強度の5%未満、好ましくは2%未満、さらに好ましくは検出限界以下のものである。なお(000L)面は、(0001)系列の面、即ち(0001)面、(0002)面及び(0004)面などの等価な面を総称する表示である。

【0024】本発明者らは、図1及び図2に示す構成のFBARにおいて、その共振特性がAlN薄膜の組成や結晶性にどのように依存するのかについて検討した。その結果、AlN薄膜からなる圧電体膜を有するFBARの共振特性が、AlN薄膜の組成や結晶性に大きく依存することを見出した。即ち、良好な共振特性を得るためには、AlN薄膜にカルシウム、ストロンチウム、バリウムなどのアルカリ土類金属、またはイットリウム、ユーロビウム、ガドリニウム、ディスプロシウム、エルビウム、イッテルビウムなどの希土類金属の添加が有効である。その含有量は、好ましくは0.2~3.0原子%(Atom%)である。0.2Atom%未満の場合には第三成分添加による共振特性改善の効果が低下し、一方3.0Atom%を越える場合には結晶粒界に偏析する第三成分の量が多くなり音響波を散乱させ共振特性の劣化が生ずる傾向にある。

【0025】アルカリ土類金属または希土類金属を含有するAlN薄膜は、C軸配向を示し、X線回折法により測定した(0002)面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)は3.0°以下である。ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.0°を超えると、電気機械結合係数k_t²が低下し、共振特性が劣化する傾向にある。さらに、ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が過度に大きくなると、下部電極端子部15bと上部電極端子部17bとの間に電流リークが発生しやすくなる傾向にある。

【0026】アルカリ土類金属または希土類元素を含有するAlN薄膜のC軸長は0.4978~0.4993

nmであることが好ましい。C軸長が0.4978より小さくても、0.4993nmより大きくても、電気機械結合係数 k_t^2 及び音響的品質係数(Q値)が低下し、共振特性が悪化する傾向にある。また、ディフラクトメータ法により測定した(0002)面のX線回折ピークの2 θ 回転角の半値幅(FWHM)は0.6°以下であることが好ましい。2 θ 回転角の半値幅(FWHM)が0.6°を超えると、やはり、電気機械結合係数 k_t^2 及び音響的品質係数(Q値)が低下し、共振特性が悪化する傾向にある。

【0027】図3は本発明による圧電薄膜共振子の更に別の実施形態を示す模式的平面図であり、図4はそのX-X断面図である。これらの図において、上記図1及び図2におけると同様の機能を有する部材には同一の符号が付されている。

【0028】本実施形態では、下部電極15は矩形状をなしており、上部電極17は、第1の電極部17Aと第2の電極部17Bとからなる。これら電極部17A、17Bはそれぞれ主体部17Aa、17Baと端子部17Ab、17Bbとを有する。主体部17Aa、17Baは振動部21に対応する領域内に位置しており、端子部17Ab、17Bbは振動部21に対応する領域外に位置している。

【0029】本実施形態では、上部電極17のうちの一方(例えば第2の電極部17B)と下部電極15との間に入力電圧を印加し、上部電極17のうちの他方(例えば第1の電極部17A)と下部電極15との間の電圧を出力電圧として取り出すことができるので、スプリアスを十分に低減することができる。

【0030】以上のような圧電薄膜共振子において、マイクロ波プローバを使用して測定したインピーダンス特性における共振周波数 f_r 、および反共振周波数 f_r と電気機械結合係数 k_t^2 との間には、以下の関係 $k_t^2 = \phi_r / \tan(\phi_r)$
 $\phi_r = (\pi/2)(f_r / f_r)$
がある。

【0031】簡単のため、電気機械結合係数 k_t^2 として、次式

$$k_t^2 = 4.8(f_r - f_r) / (f_r + f_r)$$

から算出したものを用いることができ、本明細書では、電気機械結合係数 k_t^2 の数値は、この式を用いて算出したものを用いている。

【0032】図1、2および図3、4に示した構成のFBARにおいて、2.0~3.0GHzの範囲における共振周波数及び反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数 k_t^2 は4.5~6.5%である。電気機械結合係数 k_t^2 が4.5%未満になると、作製したFBARの帯域幅が小さくなり、高周波域で実用に供することが難しくなる傾向にある。

【0033】

【実施例】以下に、実施例および比較例を示し、本発明をさらに詳細に説明する。

【0034】[実施例1] 本実施例では、以下のようにして、図1、2に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

【0035】即ち、厚さ250 μ mの(100)Si基板12の上面及び下面に、低圧CVD法により厚さ0.55 μ mの窒化シリコン(SiN_x)層を形成した。上面側のSiN_x層を下地膜13とした。また、下面側のSiN_x層は基板12に対する後述のビアホール形成のためのマスクのパターンに形成した。

【0036】下地膜13の表面に、DCマグネトロンスパッタ法により厚さ200nmのMo層を形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化して下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは平面寸法140×160 μ mの矩形に近い形状とした。下部電極15が単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo下部電極15上に、組成中に表1に示す第三成分を含む厚さ1.55 μ mのAlN薄膜を形成した。AlN薄膜の形成は、適宜の組成を有するAl合金または金属Alの一部に希土類金属塊を埋め込んだものをターゲットとして用いた、反応性RFマグネトロンスパッタ法により行った。熱燐酸を使用した湿式エッチングにより、AlN薄膜を所定の形状にパターン化して圧電体膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッタ法及びリフトオフ法を使用して、厚さ200nmのMoからなる上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは平面寸法140×160 μ mの矩形に近い形状とし、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。

【0037】次に、以上のようにして得られた構造体の上下部電極15、17及び圧電体膜16の形成されている側をPMMA樹脂で被覆し、Si基板12の下面に形成したパターン状SiN_x層をマスクとして、振動部21に対応するSi基板12の部分をKOH水溶液でエッチング除去して、空隙となるビアホール20を形成した。Si基板12の上面に形成されたビアホール開口の寸法(振動部21の平面寸法)は、200×200 μ mであった。

【0038】以上の工程により得られた薄膜圧電共振子(FBAR)について、XPS分光法によりAlN圧電体膜16の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X線回折測定(θ -2 θ 回転による格子定数測定とK α 1回折ピークの半値幅(FWHM)測定)と(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)測定とを行った。XPS分光法により測定したAlN圧電体膜16の酸素含有量は0.5atm%未満であった。AlN圧電体膜16の組成および結晶性の評価結果を表1に示す。

【0039】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバ及びネットワークアナライザを使用して、上記薄膜圧電共振子の電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 f_r 、および反共振周波数 f_a の測定値から、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q は表2に示す通りであった。

【0040】[実施例2～4]本実施例では、以下のよう

にして、図1、2に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

【0041】即ち、厚さ300 μ mのSi基板12の上面及び下面に、熱酸化法により厚さ0.2～0.7 μ mの範囲内の酸化シリコン(SiO₂)層を形成した。上面側のSiO₂層を下地膜13とした。また、下面側のSiO₂層は基板12に対する後述のピアホール形成のためのマスクのパターンに形成した。

【0042】下地膜13の表面に、DCマグネトロンスパッタ法により厚さ15nmのTi層とその上の厚さ100nmのPt層との積層膜を形成し、フォトリソグラフィによりパターン化して下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは平面寸法140×160 μ mの矩形に近い形状とした。下部電極15が単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。即ち、 $\theta-2\theta$ 回転ディフラクトメータ法において、(111)系列の面以外の回折ピーク強度は検出限界以下、すなわち、(111)面の最大ピーク強度の0.5%以下であった。このPt/Ti下部電極15上に、組成中に表1に示す第三成分を含むAlN薄膜を形成した。AlN薄膜の厚さは、表2に示す通りである。AlN薄膜の形成は、適宜の組成を有するAl合金または金属Alの一部に希土類金属塊を埋め込んだものをターゲットとして用いた、反応性RFマグネトロンスパッタ法により行った。熱燐酸を使用した湿式エッチングにより、AlN薄膜を所定の形状にパターン化して圧電体膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッタ法及びリフトオフ法を使用して、厚さ100nmのAlからなる上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは平面寸法140×160 μ mの矩形に近い形状とし、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。

【0043】次に、以上のようにして得られた構造体の上下部電極15、17及び圧電体膜16の形成されている側をPMMA樹脂で被覆し、Si基板12の下面に形成したパターン状SiO₂層をマスクとして、振動部21に対応するSi基板12の部分をKOH水溶液でエッチングして、空隙となるピアホール20を形成した。Si基板12の上面に形成されたピアホール開口の寸法(振動部21の平面寸法)は、200×200 μ mであった。

【0044】以上の工程により得られた薄膜圧電共振子(FBAR)について、XPS分光法によりAlN圧電体膜16の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X線回折測定($\theta-2\theta$ 回転による格子定数測定と $K\alpha 1$ 回折ピークの半値幅(FWHM)測定)と(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)測定とを行った。XPS分光法により測定したAlN圧電体膜16の酸素含有量は0.5atm%未満であった。AlN圧電体膜16の組成および結晶性の評価結果を表1に示す。

【0045】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバ及びネットワークアナライザを使用して、上記薄膜圧電共振子の電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 f_r 、および反共振周波数 f_a の測定値から、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q は表2に示す通りであった。

【0046】[実施例5]本実施例では、以下のよう

にして、図3、4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

【0047】上下部電極15、17の形状及び寸法を除いて実施例1と同様の工程を実施した。下部電極15は振動部21に対応する領域を含むように延びている平面寸法120×280 μ mの矩形状のものとし、上部電極17はそれぞれ平面寸法65×85 μ mの矩形に近い形状の主体部17Aa、17Baが間隔20 μ mをおいて配置されたものとした。

【0048】以上の工程により得られた薄膜圧電共振子(FBAR)について、XPS分光法によりAlN圧電体膜16の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X線回折測定($\theta-2\theta$ 回転による格子定数測定と $K\alpha 1$ 回折ピークの半値幅(FWHM)測定)と(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)測定とを行った。XPS分光法により測定したAlN圧電体膜16の酸素含有量は0.5atm%未満であった。AlN圧電体膜16の組成および結晶性の評価結果を表1に示す。

【0049】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバを使用して、上記薄膜圧電共振子の下部電極15の端子部(図3、4で左側の露出部分)を接地電極に接続し、上部電極17Aの端子部17Abから信号を入力し、上部電極17Bの端子部17Bbから出力信号を取り出して、ネットワークアナライザで信号の強度及び波形などを解析した。共振周波数 f_r 、および反共振周波数 f_a の測定値から、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q を求めた。得ら

れた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q は表2に示す通りであった。

【0050】〔実施例6～8〕本実施例では、以下のようにして、図3、4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

【0051】上下部電極15、17の形状及び寸法を除いて実施例2～4と同様の工程を実施した。下部電極15は振動部21に対応する領域を含むように延びている平面寸法150×300 μ mの矩形のものとし、上部電極17はそれぞれ平面寸法70×90 μ mの矩形に近い形状の主体部17Aa、17Baが間隔20 μ mをおいて配置されたものとした。

【0052】以上の工程により得られた薄膜圧電共振子(FBAR)について、XPS分光法によりAlN圧電体膜16の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X線回折測定($\theta-2\theta$ 回転による格子定数測定と $K\alpha 1$ 回折ピークの半値幅(FWHM)測定)と(0002)回折ピークのロッギング・カーブ半値幅(FWHM)測定とを行った。XPS分光法により測定したAlN圧電体膜16の酸素含有量は0.5atm%未満であった。AlN圧電体膜16の組成および結晶性の評価結果を表1に示す。

【0053】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバを使用して、上記薄膜圧電共振子の下部電極15の端子部(図3、4で左側の露出部分)を接地電極に接続し、上部電極17Aの端子部17Abから信号を入力し、上部電極17Bの端子部17Bbから出力信号を取り出して、ネットワークアナライザで信号の強度及び波形などを解析した。共振周波数 f 、および反共振周波数 f_r の測定値から、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q は表2に示す通りであった。

【0054】〔比較例1、2〕AlN薄膜形成時に第三成分であるアルカリ土類金属や希土類金属を添加しないこと以外は、それぞれ実施例1、5と同様の工程を実行して、図1、2に示されている構造の圧電薄膜共振子または図3、4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

【0055】以上の工程により得られた薄膜圧電共振子

(FBAR)について、XPS分光法によりAlN圧電体膜の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X線回折測定($\theta-2\theta$ 回転による格子定数測定と $K\alpha 1$ 回折ピークの半値幅(FWHM)測定)と(0002)回折ピークのロッギング・カーブ半値幅(FWHM)測定とを行った。XPS分光法により測定したAlN薄膜の酸素含有量は比較例1、2とも約2.5atm%であった。実施例1～8と同様の操作で分析評価を行ったが、AlN薄膜の品質が悪い為に、XPS分析までに膜が酸化されて酸素含有量が増加した可能性もある。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表1に示す。

【0056】また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバ及びネットワークアナライザを使用して、それぞれ実施例1、5と同様にしてインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 f 、および反共振周波数 f_r の測定値から、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 k_t^2 、周波数温度特性 τ 、及び音響的品質係数 Q は表2に示す通りであった。

【0057】尚、表1には、各実施例におけるそれぞれの組成の(0001)配向AlN結晶のC軸格子定数の測定結果が記載されている。薄膜においては、冷却過程でのSi基板との熱膨張係数差、下部電極との格子のミスマッチによる残留応力、AlN結晶内部の格子欠陥の存在などにより、バルクのAlN結晶とは異なる格子定数を示す。

【0058】以上の結果から、アルカリ土類金属または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜を用いたFBARは従来にない高特性を示すことが明らかとなった。これは、アルカリ土類金属または希土類金属を添加することにより、圧電体膜である窒化アルミニウムの結晶格子に固溶する酸素濃度を低減でき、配向性、結晶性ならびに粒界強度が改善されることに基づくものと考えられる。このアルカリ土類金属または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜を共振子やフィルター等に適用した場合には、音響的品質係数(Q値)や周波数温度特性などの性能が向上する。

【0059】

【表1】

	薄膜形成条件		第三成分		X線回折測定		
	成膜温度 (vol%)	基板温度 (°C)	元素の種類	含有量 (Atom%)	ロックングカーブ	格子定数	K α 1ピーク
					FWHM(deg)	C軸長(nm)	FWHM(deg)
実施例1	20	380	Ca	1.5	3.2	0.4982	0.65
実施例2	10	420	Er	1.1	2.2	0.4979	0.40
実施例3	15	330	Y	1.0	1.8	0.4980	0.70
実施例4	25	450	Y	0.8	1.5	0.4984	0.45
実施例5	30	480	Ca	1.3	3.1	0.4986	0.35
実施例6	50	500	Er	0.4	2.4	0.4995	0.30
実施例7	40	300	Y	0.6	1.9	0.4991	0.80
実施例8	35	400	Y	0.7	1.7	0.4988	0.50
比較例1	20	320	—	—	3.6	0.4996	0.85
比較例2	30	340	—	—	3.9	0.4998	0.75

【0060】

* * 【表2】

	FBAR構造	下地膜		AlN薄膜	インピーダンス特性		電気機械結合 係数k _{eff} (%)	周波数温度係数 τ _f (ppm/°C)	音響的品質 係数 Q
		材質	厚さ(μm)		共振周波数 (GHz)	反共振周波数 (GHz)			
実施例1	図1, 2	SiN _x	0.55	1.55	2.14	2.19	4.85	-7.9	770
実施例2	図1, 2	SiO ₂	0.50	1.50	2.10	2.15	5.62	6.6	810
実施例3	図1, 2	SiO ₂	0.28	1.32	2.90	2.97	5.88	-3.0	840
実施例4	図1, 2	SiO ₂	0.35	1.35	2.76	2.83	6.20	-0.1	1180
実施例5	図3, 4	SiN _x	0.50	1.60	2.09	2.14	5.03	-9.9	1400
実施例6	図3, 4	SiO ₂	0.45	1.45	2.12	2.17	5.48	4.5	1120
実施例7	図3, 4	SiO ₂	0.40	1.40	2.37	2.43	5.84	2.3	580
実施例8	図3, 4	SiO ₂	0.30	1.25	2.89	2.97	6.10	-1.8	930
比較例1	図1, 2	SiN _x	0.60	1.30	2.24	2.27	3.40	-26.6	150
比較例2	図3, 4	SiN _x	0.55	1.25	2.18	2.21	3.21	-29.0	140

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の圧電薄膜共振子によれば、圧電体膜としてアルカリ土類金属または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜を用いて、電気機械結合係数、音響的品質係数(Q値)及び周波数温度特性の向上が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による圧電薄膜共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

【図2】図1のX-X断面図である。

【図3】本発明による圧電薄膜共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

【図4】図3のX-X断面図である。

【符号の説明】

- 11 圧電薄膜共振子
- 12 基板
- 13 下地膜

14 圧電積層構造体

15 下部電極

15a 下部電極主体部

15b 下部電極端子部

16 圧電体膜

17 上部電極

17a 上部電極主体部

17b 上部電極端子部

17A 上部電極の第1電極部

17Aa 第1電極部の主体部

17Ab 第1電極部の端子部

17B 上部電極の第2電極部

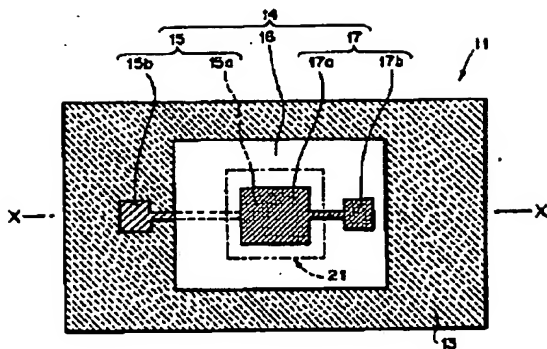
17Ba 第2電極部の主体部

40 17Bb 第2電極部の端子部

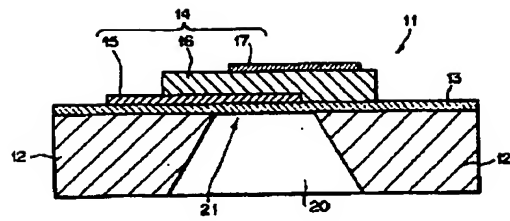
20 ピアホール

21 振動部

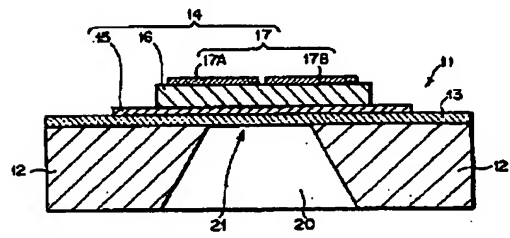
【図1】



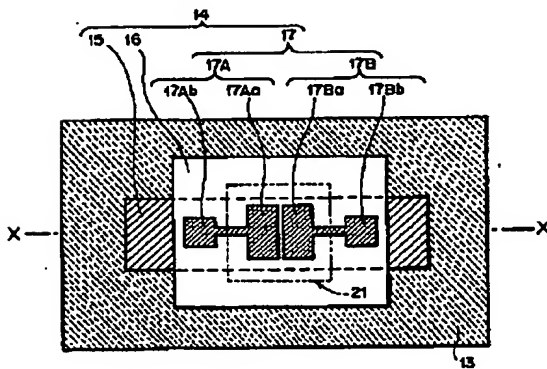
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 橋本 智仙
 山口県宇部市大字小串1978番地の5 宇部
 興産株式会社宇部研究所内

Fターム(参考) 5J108 8B08 CC04 CC08 CC11

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)